

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

略論綜合地質普查工作中分散流与水化学 找矿方法的作用及其合理应用

康繼本 吳承烈 李善芳

綜合地質普查勘探方法能够更为快速、經濟、有效地查明所調查地区內的矿产分布及地質情况,因此它受到广大地質工作者的普遍重視,并正在被迅速地推广。本文所論述的分散流(即水系金属量測量)与水化学找矿方法是綜合地質普查工作中广泛使用的化探方法,特别是在 1:200,000—1:25,000 比例尺的普查阶段更为常用。

用分散流与水化学方法,即是用研究水系底沉积物及天然水中的造矿元素与伴生元素的分散量的方法,一般地比仅仅研究基岩露头容易获得更好的找矿效果。目前,在生产工作中一般同时采用水化学与分散流这两种方法,有时也仅采用其中的一种。

綜合使用多种找矿方法固然足以互相驗證、互补长短,但每一种方法都有自己特有的专属性与局限性,因而在采用任何一种方法时,应当充分估計到在某种具体的地質、地理条件下該方法所能起的作用。分散流与水化学找矿方法在多数情况下均可取得一定的地質效果,然而仍然有必要考虑两种方法中那一种方法所取得的地質效果更为明显,那一种方法的生产效率高、成本低及方法的技术条件簡單等因素。几年来的試驗証明:在水系发育、切割剧烈的山区,仅采用其中的一种方法就足以滿足普查找矿工作的要求。

为了闡明这两种方法在地質普查工作中的效果及特点,現將近几年来的实验研究及生产工作中所取得的部分实际資料加以整理。从其地質效果、异常規模、异常強度、方法的干扰因素及技术要求等方面加以討論和对比。

一、地 質 效 果

1958 年以来,我們結合生产,先后在若干地区进行了分散流及水化学方法的試驗研究工作。現举以下实例說明两种方法的地質效果及其在綜合地質普查工作中的作用。

(一) 某多金属矿床及其外围地区(图 1) 本区域內主要出露有泥盆紀及石炭紀的鈣質頁岩、石灰岩及砂岩等,間有侏罗紀及白堊紀(?)地层出露,构成一系列南北向的背斜及向斜构造。与褶皱相伴生的断裂系統极为发育。岩浆活动頻繁,北部出露大片的花崗岩,花崗岩岩体的邊緣部分分布着花崗閃长岩、次流紋斑岩及次英安斑岩。区域的南部及西南部有輝綠岩岩脉零星出露。

本区属中、高山地形,比高 500—800 米,切割剧烈。但南部及西部分布有喀斯特盆地及冲积平原。水系甚为发育,但地下水露头不多,多半是受天然降水补給的裂隙水及第四紀地层中的潛水。

測区内以多金属矿床为主,其外围有石英脉型鎢矿。

根据 1958—1960 年分散流方法工作的结果,除发现了由这个多金属矿床中指标元素 Zn—Cu—Pb—As—Ag—(Bi) (南部)及 Cu—Zn—W—Bi (北部)引起巨大的异常外,同时还发现了几个 Pb、Zn 异常与少数的 Cu 异常点,以及 Pb、Ga 的弱异常。在测区东部花岗岩体内诸水系中所采的样品经光谱分析,发现 Sn 及 Pb 较当地背景值高,并在部分支流中发现了 Be 及 Bi 的异常。

以上所发现的异常地段与同比例尺金属量测量所发现的次生晕甚为吻合,其中仅有两个地段因地形平坦,水系不发育,次生晕有明显异常,而分散流则并不明显。

上述情况说明,分散流方法在本区几乎取得了与同比例尺金属量测量相同的地质效果,同样指出了全部远景地段,和各种成矿带。根据光谱全分析结果所示的综合指标,在北部花岗岩边缘及附近地区出现了 Cu—Zn—W—Bi; Cu—Mo—W; W—Bi—Mo—Cu—B—(Be)—(Ag)—(Sn)等元素组,表明这一带为高温的 W—Sn—Mo—Bi 及多金属成矿带。而在远离花岗岩岩体的 Pb、Zn 异常地区,亦为多金属成矿带。根据 Pb 及 Ga 含量的多少可指出花岗岩大致分布范围。

水化学方法调查的结果,在上述各地段也发现了相应的异常,但异常甚为零散,异常值亦较低,在地质效果上较分散流找矿方法要逊色得多,只有在测区西南部,由于地形平坦、复盖较厚、水系不发育,分散流方法找矿效果不佳。但水化学方法的调查结果,有重金属总量的异常出现,同样指出了该地段的远景价值。

本区内水化学方法的主要指标为重金属总量(ΣM), Zn 及 Cu 二指标的反映并不普遍, pH 值与 SO_4^{2-} 除个别地段外,均无明显异常,因而一般说来水化学异常与金属量测量异常在空间位置上的关系不及分散流与次生晕之间更为密切,且其指标亦远较分散流方法为单纯,因而无法对异常作进一步的评价。

(二) 一个铜矿区(图 2) 铜矿体产于斑状花岗岩闪长岩中。与其伴生的有含铜及钨的细脉。原生矿物以黄铜矿及黄铁矿为主,伴有辉钼矿。矿体形状不规则。

矿区内除花岗岩闪长岩外,尚有煌斑岩岩脉。区内地形较陡峻,相对高差 100—300 米,属中山区。

用分散流方法在本区内几条主要沟谷中发现了 Cu、Mo、W,间有 Zn 的异常及个别的 Ag、Bi 的异常点。以上异常与矿体及金属量测量所发现的铜与钨的次生晕密切相关,从而准确地控制了矿化范围。

水化学方法工作的结果同样是较好的,在矿体附近水系中发现了铜的异常含量。

(三) 一个铅锌矿床外围(图 3) 调查区内主要分布有前震旦纪云母片岩及白云石大理岩,南部有花岗岩,北部有小规模的闪长岩侵入,主要断裂构造呈南北向、北东向或近东西向。

本区为中山地区,地形切割较剧烈,水系发育,地表水流量受季节性影响较大。

水化学方法虽然指出了几个地区的异常,但由于采样工作是在雨季进行的,因此异常点分布零散,缺乏规律性,对于异常的评价颇为困难,而顺便进行的分散流则在花岗岩岩体内部及其周围的厚层大理岩、云母片岩地段诸水系中发现了 Cu Pb Zn 异常,异常虽较弱,但既集中,又明显。此外,在花岗岩岩体西北一带发现了一条较为明显的 Co 异常,及 Co 的一些弱异常。由此可以推测,在花岗岩的接触带附近应为铅—锌及多金属矿床



图 4 一个铜矿区综合化探成果示意图

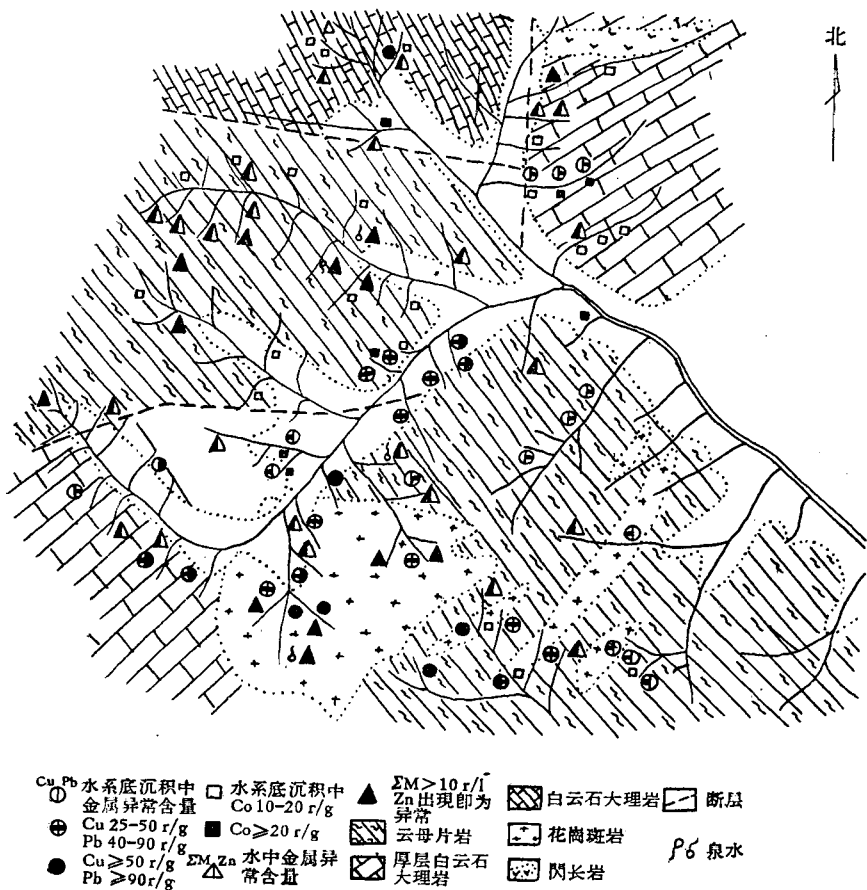


图3 一个铅锌矿床外围分散流与水化学找矿成果示意图

的远景地段,而 Co 的异常应与基性或超基性岩脉有关。

(四) 一个铜、锌矿区(图4) 本区有裂隙充填型铜-锌矿床,矿体产于前震旦纪片麻岩中,主要矿体未出露地表。

本区为中山区,相对高差 200—300 米,水系不甚发育,切割不深,山谷宽阔而平缓,地下水露头不多,水量甚小。

虽然地形条件较差,但分散流方法效果较好,铜的弱异常与铜的次生晕完全吻合。而水化学的结果则甚差,甚至在次生晕范围内所采的水样中也没有发现铜的异常含量。

(五) 一个锡、钨、钼矿床(图5) 测区位于两个大花岗岩体之间,出露地层主要为早侏罗世变质砂岩、板岩、长石石英砂岩,其中有花岗岩小侵入体。

本区属中低山区,切割较深,沟谷发育。

分散流方法在中部水系中发现了 Sn、W、Be、B、As、Cu 等元素的异常。

分散流方法在测区北部水系中发现了 W、Mo、Be、Bi、Sn、As 等元素的异常,南部水系中发现了 Sn、W、Be、As、Cu 等元素的异常,同时在测区的最南端还发现了较已知矿床更强烈的分散流,估计这里有矿脉存在。

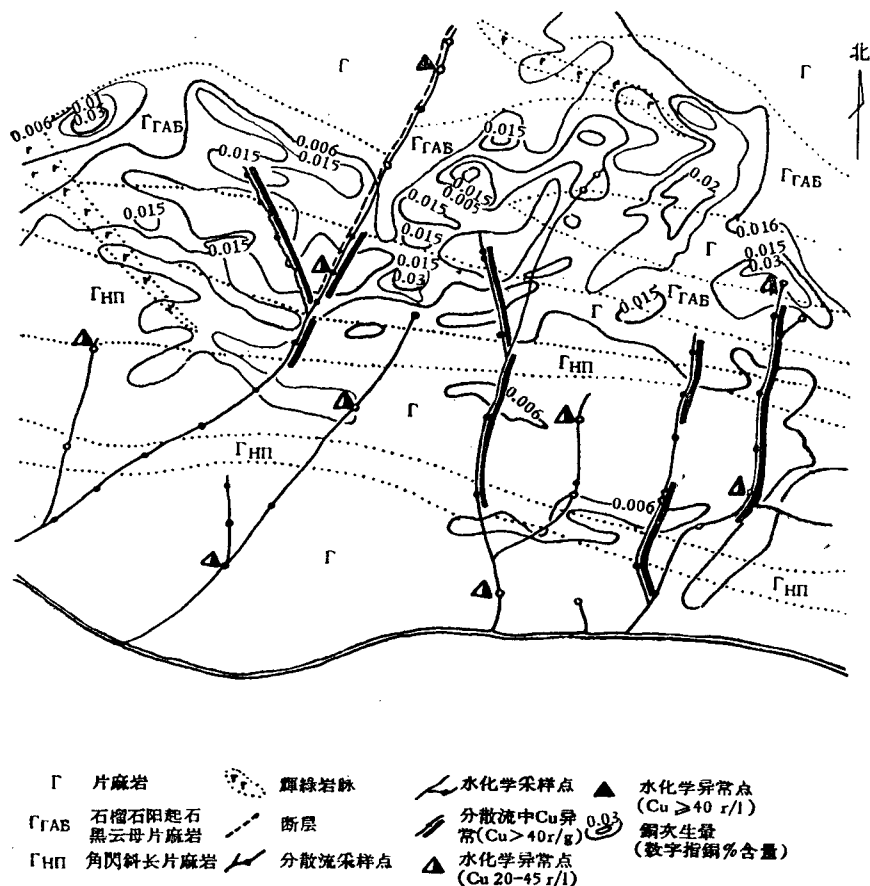


图4 一个銅鋅矿床綜合化探成果示意图

本区未作水化学調查。

二、地球化学異常的規模、組份与强度

地球化学找矿方法的优点, 在于利用近代各种痕量分析方法发现矿床周围由造矿元素及其伴生元素所形成的“分散量”与分散流, 因而它就扩大了找矿的目标。因为这些异常規模的大小关系着該方法所能指示的找矿范围的大小, 从而影响着該方法的有效程度。而异常中所出現的指标元素的組份及其强度, 則决定了异常的可靠程度, 同时也决定了該方法的技术要求, 如测网的密度、分析方法的灵敏度与精确度等。

現將有关資料中見到的不同类型矿床的各种有效指标元素在水系底沉积物与天然水中所形成的异常規模及强度列于表 1。

从表 1 所列数字可見: (1) 不同类型矿床周围各种成矿元素及其伴生元素在水系中的分散距离虽因矿床类型、規模等条件不同而异, 但其有效指标的分散距离至少在 500 米, 甚至数公里以上; 而水化学异常一般仅 400—500 米左右, 很少超过一公里。

(2) 水系底沉积物中金属的正常含量一般为 $n \cdot 10^{-3}\%$, 仅个别元素如 Mo、Be 等为 $n \cdot 10^{-4}\%$ 或更低, 而异常含量一般則为 $n \cdot 10^{-3}$ — $n \cdot 10^{-2}\%$ 或更高, 这一含量范围是光

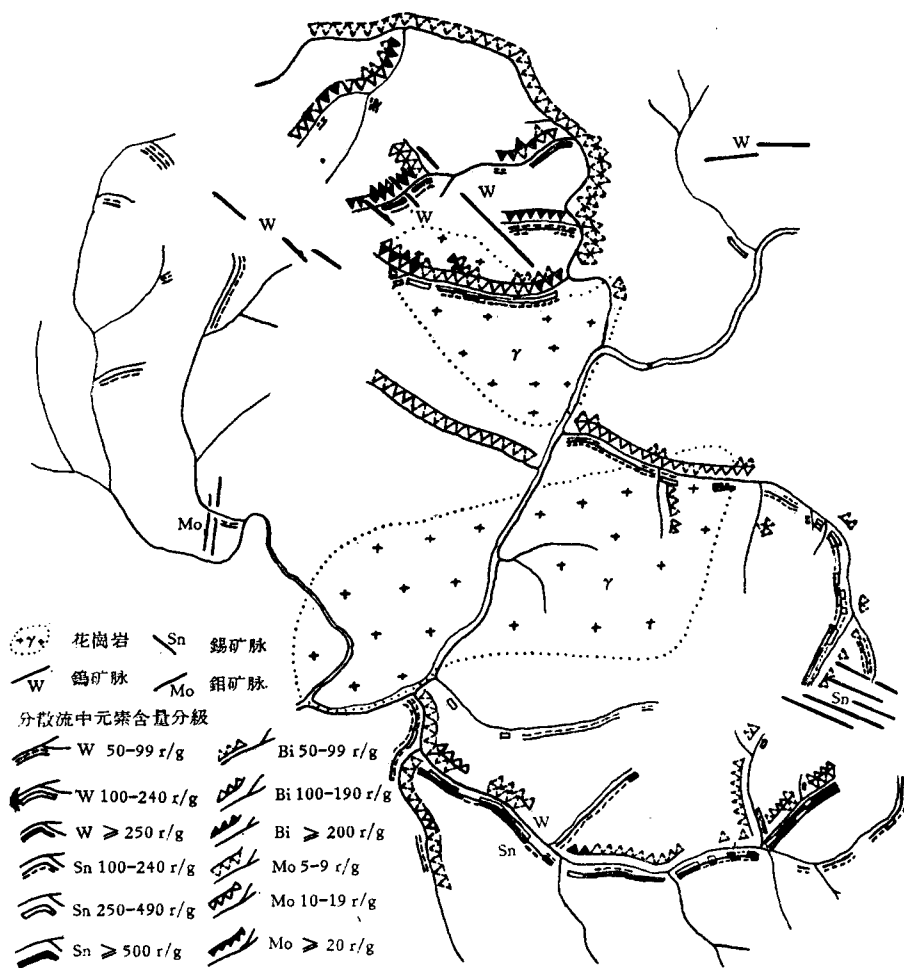


图5 一个钨、锡、钼矿床分散流找矿成果示意图

谱半定量分析或其他化学分析的灵敏度与精确度都能满足的,而天然水中金属的正常含量则为 $n \cdot 10^r/l$ (即 $n \cdot 10^{-7}\%$) 或更低,异常含量一般为 $n \cdot 10 - n \cdot 100 r/l$ (即 $n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-6}\%$) 或更低。此数值已低于一般光谱分析或化学分析的灵敏度,因此水化学异常值与背景值之比虽然同样为数倍至数十倍,但是其异常之可靠程度却不能与分散流相提并论。

(3) 在各种金属矿床中造矿元素或伴生元素除铜、铅、锌等少数元素于天然水中有较大的溶解度外,其他则溶解极微,即使在条件合适时有较大的溶解度,而一经条件改变立即受水解、胶体吸附等因素的影响而析出,因此水化学指标仅有重金属总量 (ΣM)、Cu、Pb、Zn 等较为有效。根据在一个多金属矿床及其外围用硫化铜沉淀浓集方法采集了数百个水样,进行了光谱半定量全分析, Mn、Sb、Ba、Ti、Zn、Pb、Cu、Ag、As、W、Mo、Bi、V、Sn、Ni 等元素的含量达到 $n \cdot 10^{-6}\%$,而其中 Sb、Ti、Zn、Pb、Ag、W、Bi、Sn 等很可能由于浓集时受所用试剂及其他因素的影响,不少元素的出现与已知矿床并无明显的关系,故

表 1

元素	分散流异常			水化学异常			說明
	分散距离 (公里)	背景值 $n \cdot 10^{-4}\%$	一般异常值 $n \cdot 10^{-4}\%$	分散距离 (公里)	背景值 $n \cdot 10^{-4}\%$	一般异常值 $n \cdot 10^{-4}\%$	
Cu	>12.0	30	140—900	6.0—7.5	0.04	0.12—0.8	大型多金属矿床
	1.0—> 1.5	30	30—200	0.15—0.25	<0.003	>0.003	細脉浸染型銅矿
	0.4— 1.2	30	40—120	—	—	—	銅—鋅矿床外围
	0.3	10	10—100	—	—	—	含銅砂岩型銅矿
Pb	> 2.5	50	200—600	—	—	—	石英脉型鎢矿
	>12.0	50	100—500	—	—	—	大型多金属矿床
	> 1.5	80	80—2,000	—	—	—	多金属矿区
Zn	> 1.5	30	200—2,000	—	—	—	鉛矿区
	>12.0	60	120—400	—	0.03	0.032—0.3	大型多金属矿床
	1—> 1.5	60	300—600	—	0.03	0.032—0.3	多金属矿区
ΣM	> 1.5	50	200—800	—	—	—	鉛矿区
	>20.0	< 10	10—100	0.4—0.5	0.05	0.06—1.0	多金属矿区
Sn	—	—	—	<0.5	<0.012	0.012—0.04	銅鋅矿床外围
	> 2.7	40	200—600	—	—	—	錫、鎢、鉬矿区
W	> 2.5	50	200—600	—	—	—	石英脉型鎢矿
	1.2—> 2.7	25	100—400	—	—	—	錫、鎢、鉬矿区
	0.5— 0.8	25	30—350	—	—	—	細脉浸染型銅矿
Mo	> 2.5	5	10—15	—	—	—	石英脉型鎢矿
	> 2.7	< 5	5—10	—	—	—	錫、鎢、鉬矿区
	0.8—1	4	6—32	—	—	—	細脉浸染型銅矿
	1	4	12—16	—	—	—	多金属矿区外围
Be	0.5—1	7	10—30	—	—	—	鉍矿区
	0.5—1.3	5	10—35	—	—	—	錫、鎢、鉬矿区
As	1.0	40	300—1,000	—	—	—	錫、鎢、鉬矿区
Bi	> 2.5	25	200—600	—	—	—	石英脉型鎢矿
	2.2	25	50—100	—	—	—	錫、鎢、鉬矿区
Ni	—	<100	110—400	0.5—1.0	<0.01	0.01—0.1	鎳矿区
Cr	—	<300	310—2,000	—	—	—	鎳矿区
Hg	—	0.02	0.3	—	—	—	汞矿区

对于該地区的找矿意义不大。該区有效的水化学指标仅为重金属总量、Zn、Cu。

根据目前的資料，水化学方法仅可根据易溶于水中的重金属总量、Zn、Cu 等指标找寻多金属及銅的硫化矿床，而水系底沉积物則包含了易溶或难溶的稳定矿物的指标元素，因而分散流找矿方法不仅由 Cu、Pb、Zn 等指标元素反映銅、鉛、鋅等多金属硫化矿床，同时也能由 Sn、W、Mo、Hg、Be 等指标元素反映錫、鎢及稀有元素等矿床。由于它所反映的指标完备而确切，在 1:200,000—1:25,000 比例尺的普查测量阶段有可能根据綜合指标的元素組合来預測测区内的矿产分布情况。

三、季节性影响及其他干扰因素

分散流与水化学找矿方法系研究水系底沉积物与天然水中的微量金属及其含量的变化。水系底沉积物来源于水系集水面积内岩石及矿物的风化产物，再經机械搬运进入水

系而形成泥沙或淤泥。其中金属的含量主要决定于岩石与矿物中的原始含量,此外与淤泥中胶状物质吸附作用及其相接触的天然水中溶解的金属离子亦有一定的关系。机械搬运及吸附作用基本上能达到平衡。因而水系底沉积物的组份可认为是稳定的,其中金属的含量一般不随季节的改变而产生变化。而天然水的流量(包括地下水和地表逕流)则在很大程度上决定于降水量,其中金属的含量则取决于地下水交替的速度与流量的变化,因此在雨季金属浓度随水量增加而变稀,反之,在干旱季节则因水量减少而相对浓缩。有时在暴雨后由于水流流速较大,水中夹带了大量悬浮物,在将水样作不同处理时,此种悬浮物可能溶解或沉淀。这些因素都可使分析结果产生难以预计的紊乱。

现将一个黄铁矿与铅锌矿在雨季与干旱季节重复取样所测定重金属总量与 Zn 含量的分析结果列于表 2:

表 2

取 样 点 号	ΣM 含量 (r/l)		Zn 含量 (r/l)	
	干旱季节	雨 季	干旱季节	雨 季
001	72	30	30	20
002	56	25	30	14
003	9	2	4	2
007	90	50	56	14
009	170	130	96	70
023	5,000	6,500	2,400	2,100
024	150	40	90	32

表中对比数值说明两次测定金属含量之变化很大,而其变化又缺乏规律性。因而进行水化学调查时不宜将工作时间拖长,否则常因季节的变化而造成假异常或使异常消失。

四、技术 要 求

所采用方法的技术要求的特殊性及其严格程度常影响该方法在大规模生产工作中的实用意义。分散流与水化学找矿方法在工作程序上虽然有很多类似之处,但在技术要求上却又有许多不同之点。例如在测网布置上,采样点的选择上,虽均沿水系布置,但水化学方法遇到水流枯竭的地点,或遇到干沟即不能取样。而分散流方法则不受此限制,可视实际需要布置取样。

对于样品的要求,水系底沉积物一般仅需数十克细粒物质已能满足光谱半定量或其他化学分析之用。而这些样品可视实际需要加以保留,以供日后检查或作重复分析之用。从分析方法的要求而言,不论光谱半定量分析或化学分析,其分析灵敏度对于绝大多数元素均高于一般背景含量。兹将光谱半定量全分析对各种元素的灵敏度分类列于表 3。表中第 I 类元素为常见的造矿元素,或为有效的地球化学找矿指标;第 II 类为较常见的地球化学指标元素,这两类元素的光谱分析灵敏度除了 Hg、As、Sb、Sr 等元素以外均能很可靠地区分背景与异常;第 III 类属于稀有及分散元素,在分散流找矿或其他地球化学找矿方法中均并不常见,其作为地球化学指标的意义尚不十分清楚,其中若干元素的光谱分析灵敏度亦较差、尚有待研究。但总的说来光谱半定量全分析完全能满足分散流找矿的要

表 3

类 别	元 素	光譜分析灵敏度 [†] ($n \cdot 10^{-4}\%$)	背景含量(或土壤中平均含量*)($n \cdot 10^{-4}\%$)	
			高于光譜分析灵敏度者	低于光譜分析灵敏度者
I	Cu	1	30	0.02
	Be	3	5	
	Zn	5	50	
	Hg	10		
	Sn	5	40	
	Pb	7	50	0.4*
	As	70		
	Sb	50		
	Bi	5	25*	
	Cr	4	300	
	Mo	0.8	4	
	W	25	25	
	Mn	25	850*	
	Ni	4	4	
	Co	4	8*	
II	Sr	1,000		300*
	Ba	400	500*	
	B	2	25	
	Ga	0.1	10*	
	Ti	100	1,000**	
	Zr	5	10—100**	
	V	2	100*	
	P	600	800*	
III	Ag	0.2	0.25	50*
	Y	80		
	Ce	100		
	In	1.5		
	Ge	2		1*
	Nb	50		0.5*
	Cd	30		
	Sc	50		

* 根据 A. П. 維諾格拉多夫“土壤中稀有和分散元素的地球化学”中所列土壤中平均含量数据。

** 系根据生产队提供的数值。

† 系根据水平电极撒矿法的光譜半定量全分析数据。

求。

天然水中的金属含量很低,絕大多数元素的含量皆低于分析方法的察觉灵敏度,为了滿足分析的要求,就必需采集 0.5 至 1 升的水样以供濃縮处理。因此采样效率大为降低。水系底沉积物样品与金属量测量样品的处理手續基本相同,而水化学样品則极为繁瑣,如将 1 升水样蒸发成干渣往往需 5—6 小时以上,沉淀处理虽較簡便,但沉淀、过滤、干燥、研磨等一系列操作过程需 1 小时以上;同时在处理过程中又难免因操作上的疏忽或錯誤而造成結果紊乱。虽然水样分析可以直接在野外进行而曾被認为其优点之一,但由于水

系底沉积物中重金属离子的冷提取技术的应用而使这一优点非水化学方法所独有。水化学野外分析箱在现场进行分析也并非良好的技术措施,它不仅增加了工作人员的负担,且由于工作环境的限制而使测定结果甚为粗略,同时能在现场进行测定的项目亦极为有限,因而这些结果很难满足准确化分异常的要求。

根据最近几年来对我国几个地区所进行的分散流及水化学找矿工作所取得的实际资料的综合分析与研究,对地质普查工作中这两种方法的作用与合理使用作出如下初步结论:

(一) 试验结果表明在水系发育、切割剧烈的山区进行地质普查工作时分散流找矿方法是一种快速而有效的地球化学找矿方法,可以对调查地区的绝大部分金属矿产或矿化情况进行快速评价;已有的资料表明不仅能由 Cu、Pb、Zn 等指标反映 Cu、Pb、Zn 等多金属硫化矿床,同时也能由 Sn、W、Mo、Hg、Be 及其他指标元素来反映 Sn、W 及稀有元素等矿床。

(二) 观察并研究分散流中综合指标的出现规律,可以指出调查地区的成矿远景与矿产分布情况,同时也可以预测可能存在的矿床的类型,在有利的情况下,尚可根据某些指标指出火成岩体大致的分布范围及其他地质体的分布情况。因此,就要求尽可能迅速而正确地测定样品中所有有意义的微量元素。水系底沉积物中各种金属的含量范围大致在 $n \cdot 10^{-4}\%$ 左右,现在采用水平电极撤矿法的光谱半定量全分析的灵敏度与精确度已基本上满足了这个要求,这为分散流找矿方法提供了极为有利的手段,而对于水化学样品的分析,由于水中金属含量极低,目前尚无满意的全分析方法。

(三) 分散流的异常强度一般比水化学的异常强度高出 1,000 倍以上。造矿元素与伴生元素的分散流长度一般为数公里,而水化学异常一般仅 400—500 米左右。这就说明分散流找矿方法的目标大而明显,并在地质普查工作中易于发现。

(四) 分散流方法不仅可以采集水系底沉积物样品,也可以自干谷中取样,因而易于保证测网密度。在水系发育、切割剧烈的山区分散流找矿方法完全可以满足 1:200,000—1:25,000 比例尺普查找矿的要求。

(五) 水化学方法在水系发育、切割剧烈的山区及地下水露头发育的丘陵地区也能取得一定的地质效果,根据目前资料,可以水中重金属总量、锌、铜等指标寻找多金属及钨的硫化矿床,但由于水化学的异常强度比较低、受季节性影响很大、分散距离比较近、指标元素比较少,因而水化学方法的地质效果往往不如分散流找矿方法的地质效果明显。同时水化学样品的采集、运送及样品处理与分析的技术要求等也比较复杂与严格,因而在大面积普查工作中效率也比分散流找矿方法要低。

(六) 根据分散流与水化学找矿方法在地质普查工作中的作用及其本身的特点,可认为在水系发育、切割剧烈的山区及险峻的高山区应该大规模地使用分散流找矿方法,以便迅速查明调查地区内的矿产资源。在这类地区开展综合地质普查工作时分散流找矿法具有较多的优越性,应作为主要的地球化学找矿手段。而在丘陵地带、疏松沉积物复盖厚的地段开展对层间水、裂隙水等地下水的水化学调查也具有实际意义,可作为分散流找矿方法的重要补充。